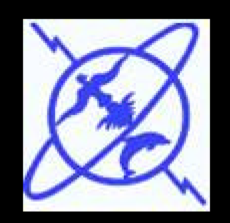


Les instruments d'optique

L'œil , La loupe, et le microscope

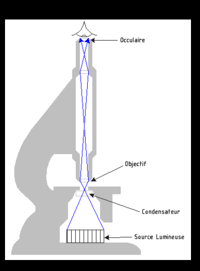
SVT session d'automne 2012

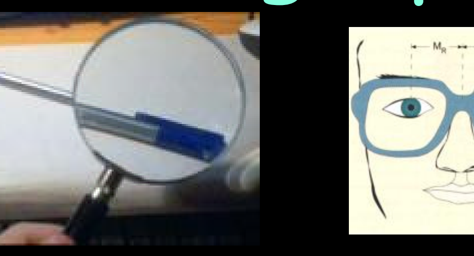
Pr Hamid TOUMA
Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

Généralités sur les instruments d'optiques :

<u>Classification</u> : Les instruments d'optiques sont de types différents très variés.

1. Les plus fréquemment utilisés sont des appareils destinés à aider l'œil dans **l'observation des objets**.
2. Analyser la lumière émise ou absorbée (spectrographe).



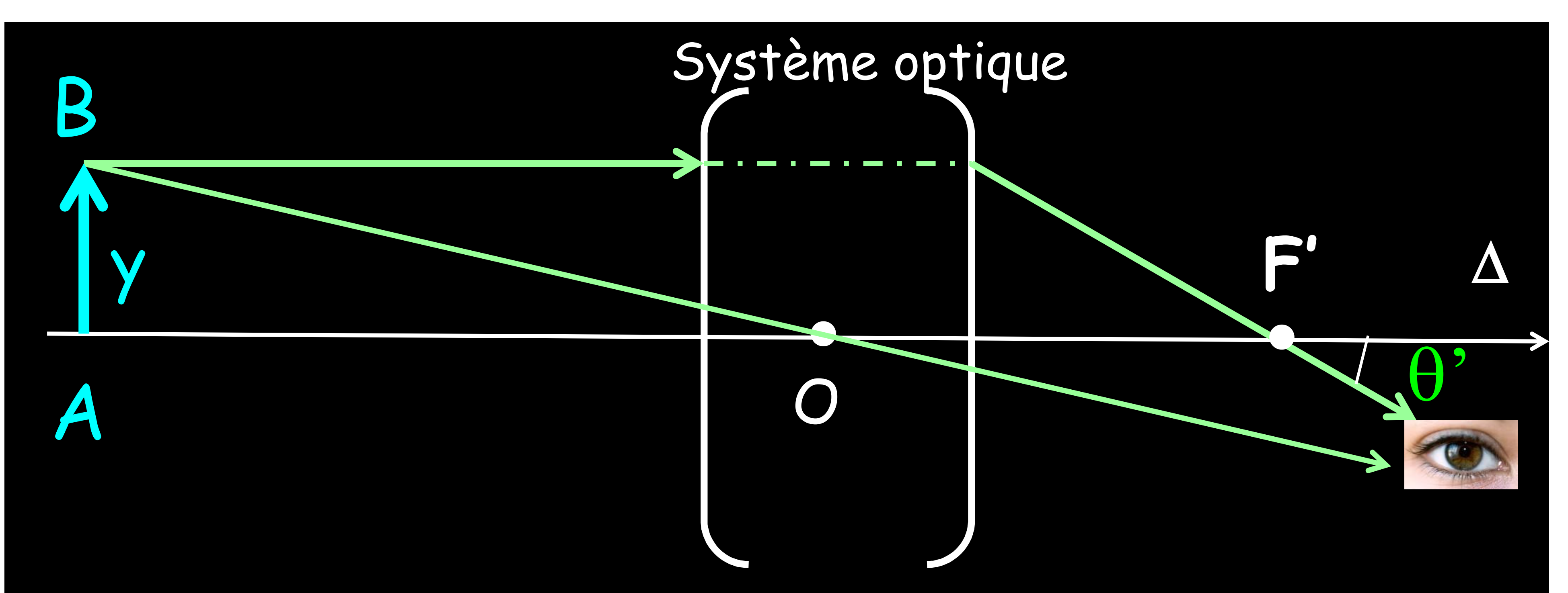




Un instrument d'optique est caractérisé par les paramètres suivants :

Grandissements $\gamma_{transversal}$ et γ_{axial} : Facteurs qui caractérisent les **grandeurs de** l'image obtenue à l'aide de cet **instrument d'optique** comme le **microscope** et l'objectif **photographique**.

$$\gamma_{transversal} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \quad \text{et} \quad \gamma_{axial} = \frac{d\overline{OA'}}{d\overline{OA}}$$



Soit θ' le diamètre apparent de l'image. θ' est l'angle sous lequel l'observateur voit à travers l'instrument une dimension y déterminée de l'objet. Ce diamètre est proportionnel à la grandeur y de la dimension correspondante de l'objet.

Image 'taille angulaire'

$$\theta' = \frac{y}{f'}$$

Objet 'taille linéaire'

Instrument 'distance focale'

Vergence

$$V(\delta) = \frac{1}{f'(m)}$$

Puissance P : Facteur qui caractérise uniquement les instruments destinés à la vision d'objets rapprochés comme la loupe et le microscope.

$$P(\text{Dioptries}) = \frac{\theta'(\text{rd})}{y(\text{m})}$$

Il est à remarquer que θ' peut être exprimer en fonction de la vergence V du système optique :

$$\theta' = y.V \qquad P = V$$

La puissance est égale à la vergence de l'instrument d'optique.

Système optique

B

y

θ

A

O

d

A'

θ'

y'

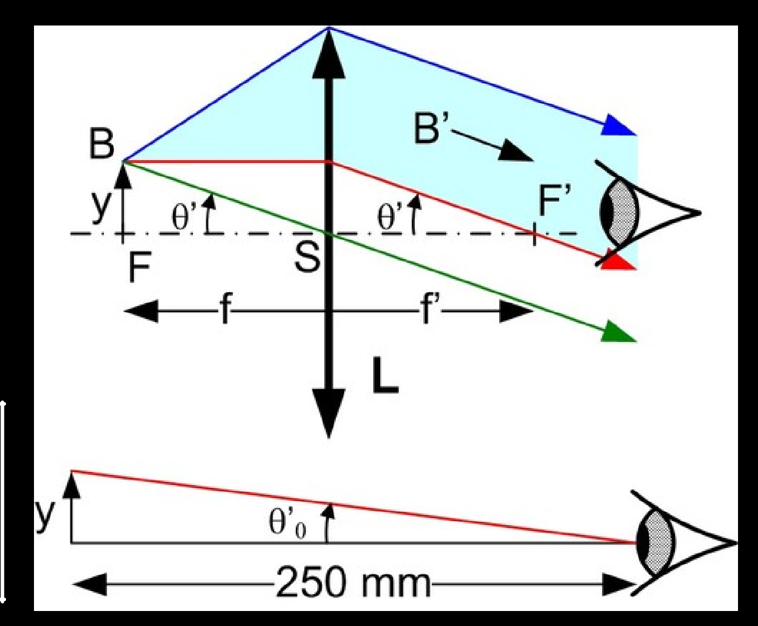
d'

B'

Grossissement G : Pour les objets rapprochés, on utilise les instruments d'optiques comme la loupe et le microscope. Le grossissement est défini par l'expression suivante :

$$\begin{cases} \theta = \dfrac{y}{d} \\ \theta' = \dfrac{y'}{d'} \end{cases}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \geq 1$$



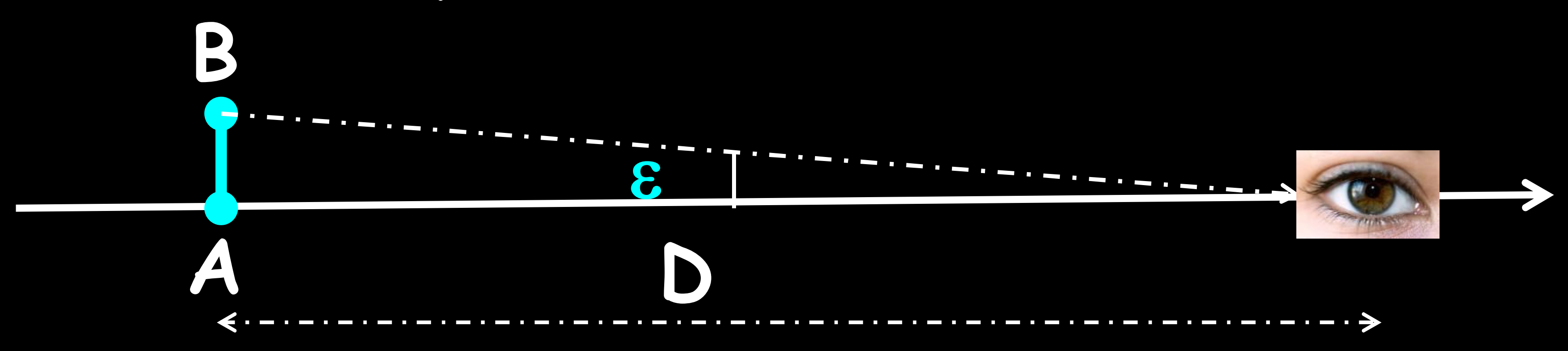
$$\theta \simeq \frac{y}{d} \quad \text{et} \quad \theta' \simeq \frac{y'}{d'}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{y}.d = P.d = V.d$$

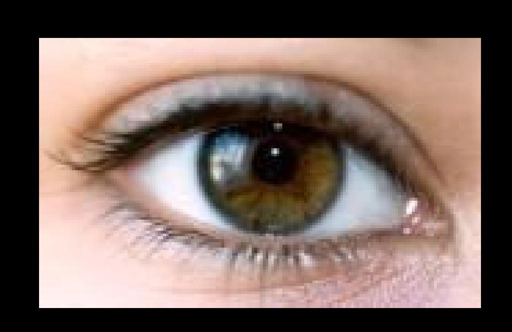
où la **vergence V** est égale à la **Puissance P**, avec **d** est la **distance à l'objet** et **d' la distance** à **son image** .

Pouvoir séparateur : est un paramètre qui se rapporte à la limite de perception des détails : $tg(\varepsilon) = AB/D = \varepsilon_{rd}$

C'est souvent la qualité la plus importante pour un instrument d'optique.





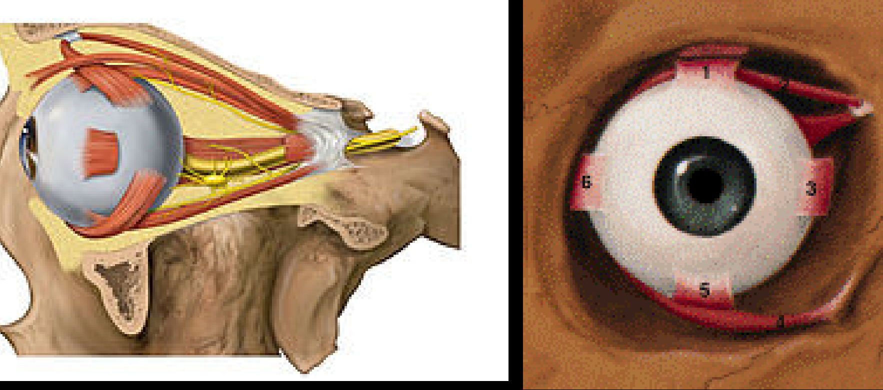




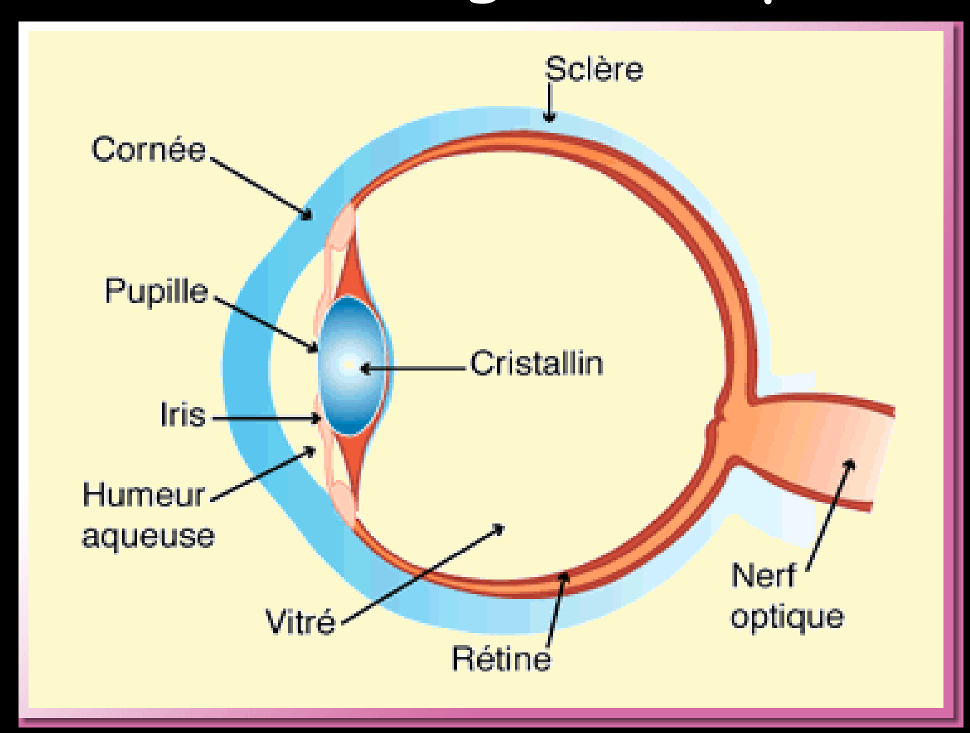
Description :

L'œil est l'organe de la vision. Il sert à observer directement des objets ou bien à examiner les images formées par des systèmes d'optiques. Son rôle est fondamental dans l'étude de l'optique.

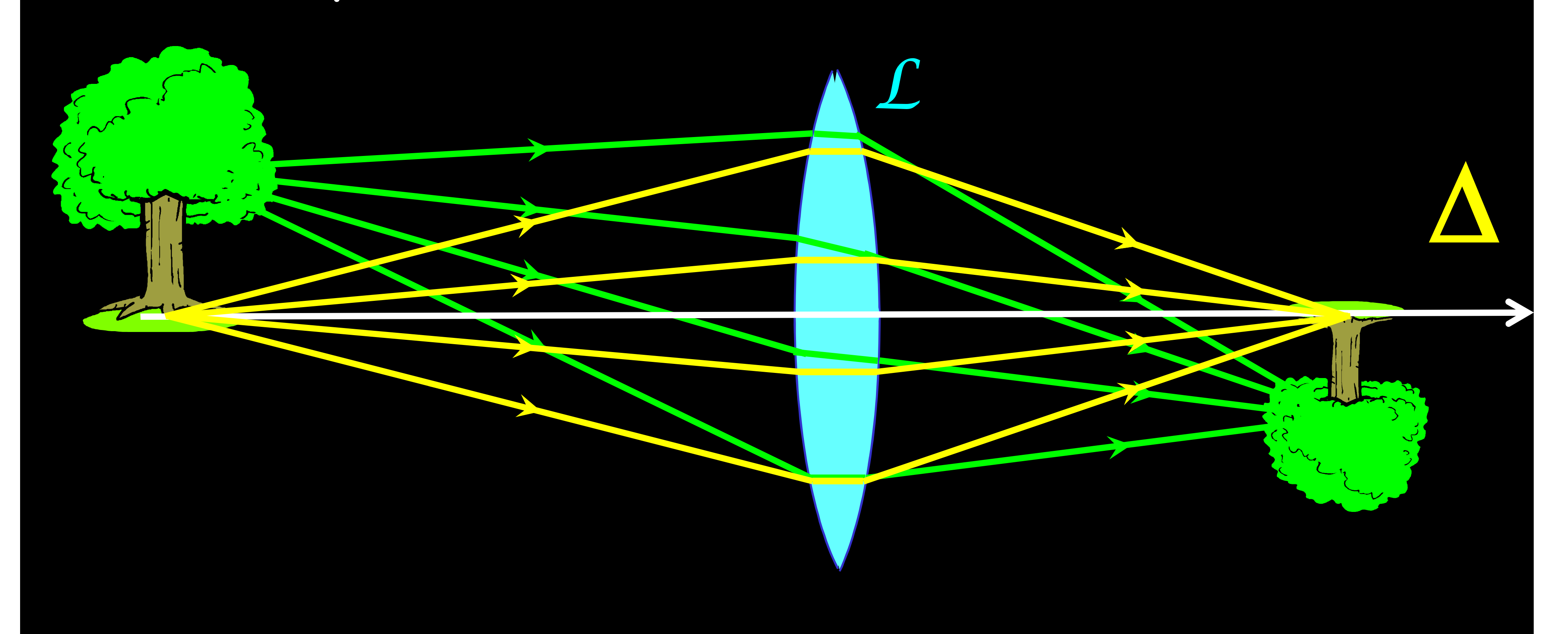
L'œil est un globe de 8 grammes, de 25 mm environ de diamètre, recouverte d'une enveloppe blanche, la sclérotique, membrane d'épaisseur voisine de 2 mm, dont la partie antérieure ou cornée, bombée (8mm de rayon), est transparente, pour laisser passer la lumière.



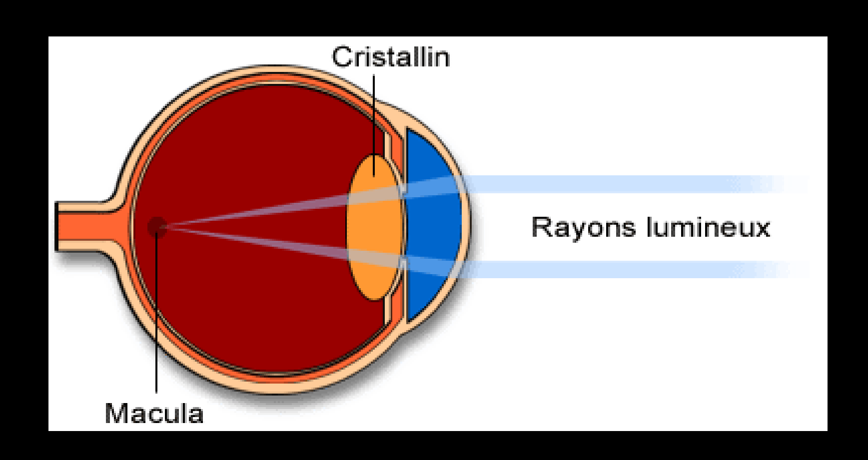
- Le **cristallin** est une lentille qui converge la lumière sur le fond de l'œil qui est la **rétine**.
- La couleur des yeux est assurée par **l'iris**, un diaphragme devant le **cristallin**, qui commande l'ouverture de **la pupille** a un diamètre variable de 2 à 8 mm, selon <u>l'âge de la personne.</u>



De point de vue optique, l'œil fonctionne comme un appareil photographique. L'image formée est inversée pour les deux.



Le **fond de l'œil** est tapissé par la **rétine R**, **écran** sur lequel se forme **l'image**. La rétine est composée de diverses couches de faibles épaisseurs (10 à 40 μm). Une couche est constituée de **deux sortes de cellules**, de formes différentes, **les cônes** ayant un diamètre de 4mm, et les **bâtonnets**. La rétine est l'épanouissement du **nerf optique**, dont les filaments aboutissent à ces cellules.



La répartition de ces cellules n'est pas régulière : une légère dépression, la **Fovea centralis**, de **0,3 mm** de diamètre, ne comprend que des **cônes** et se place au centre de la **tache jaune T**(diamètre 2mm).

En fait, la sensibilité de la rétine pour la vision diurne est limitée à cette **tache T** (riche en **cônes**), légèrement écartée de l'axe de l'œil.

En revanche, **la sensibilité** de la rétine pour la vision nocturne est limitée à la région riche en **bâtonnets**.

Les bâtonnets assurent la vision quand la lumière diminue d'intensité.

cônes

bâtonnets

437 498 533 564

400 500 600 700

Cellules de traitement de l'information lumineuse

Bâtonnets

Cônes sensibles à la lumière rouge, verte et bleue

Comment l'œil perçoit les couleurs ?

- **Les daltoniens** n'arrivent pas à faire une **association de couleurs.** Donc ils n'aperçoivent pas une ou deux des couleurs principales : **confusion de couleurs**.
- 8% de la population mondiale sont des daltoniens, dont la majorité sont des garçons.
- Les mamans qui transmettent ce défaut visuel aux garçons.

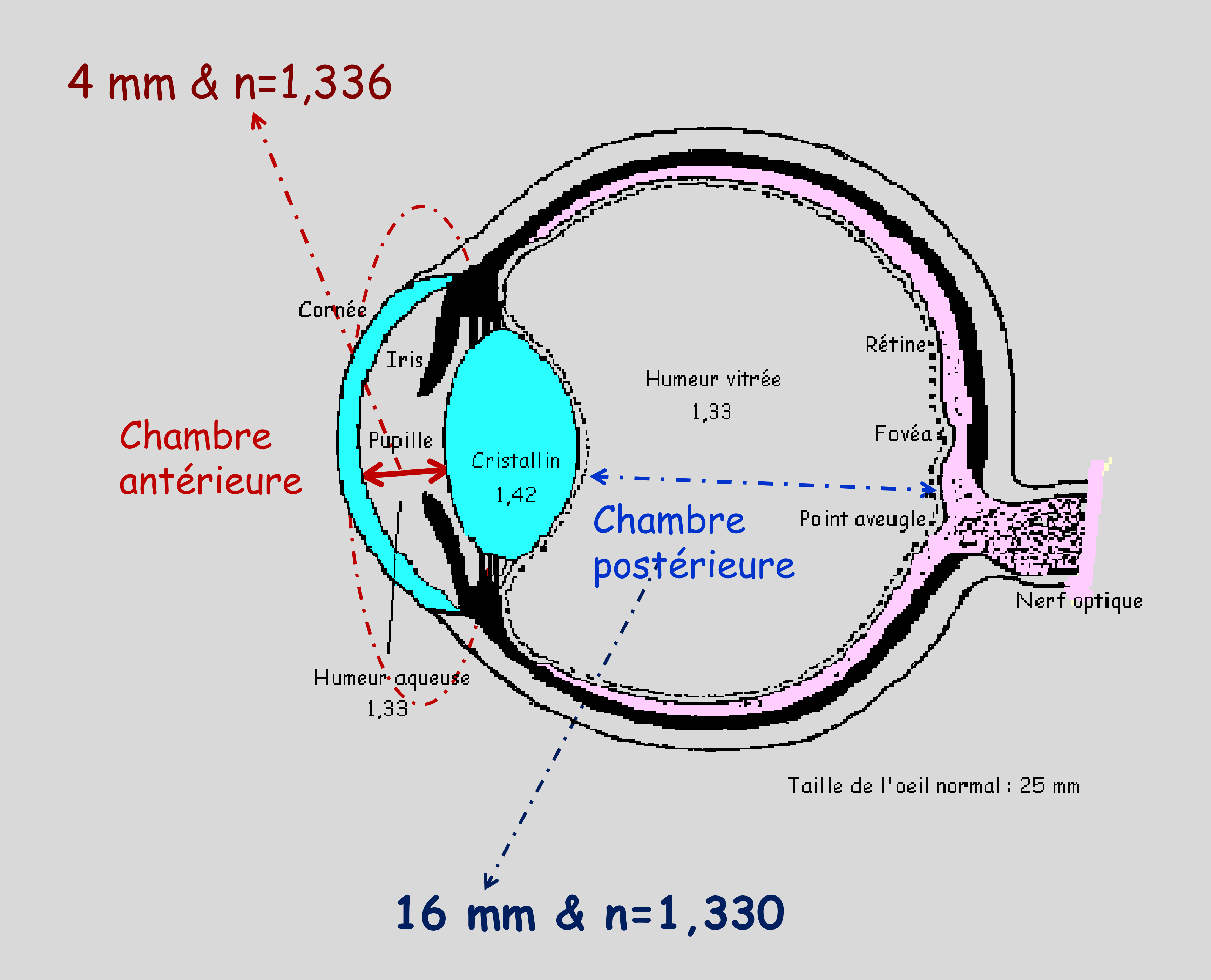
- **Les deux yeux** sont écartés de 7 cm, ce qui fait qu'ils ne voient pas la même chose. **D'où la notion du perspective**



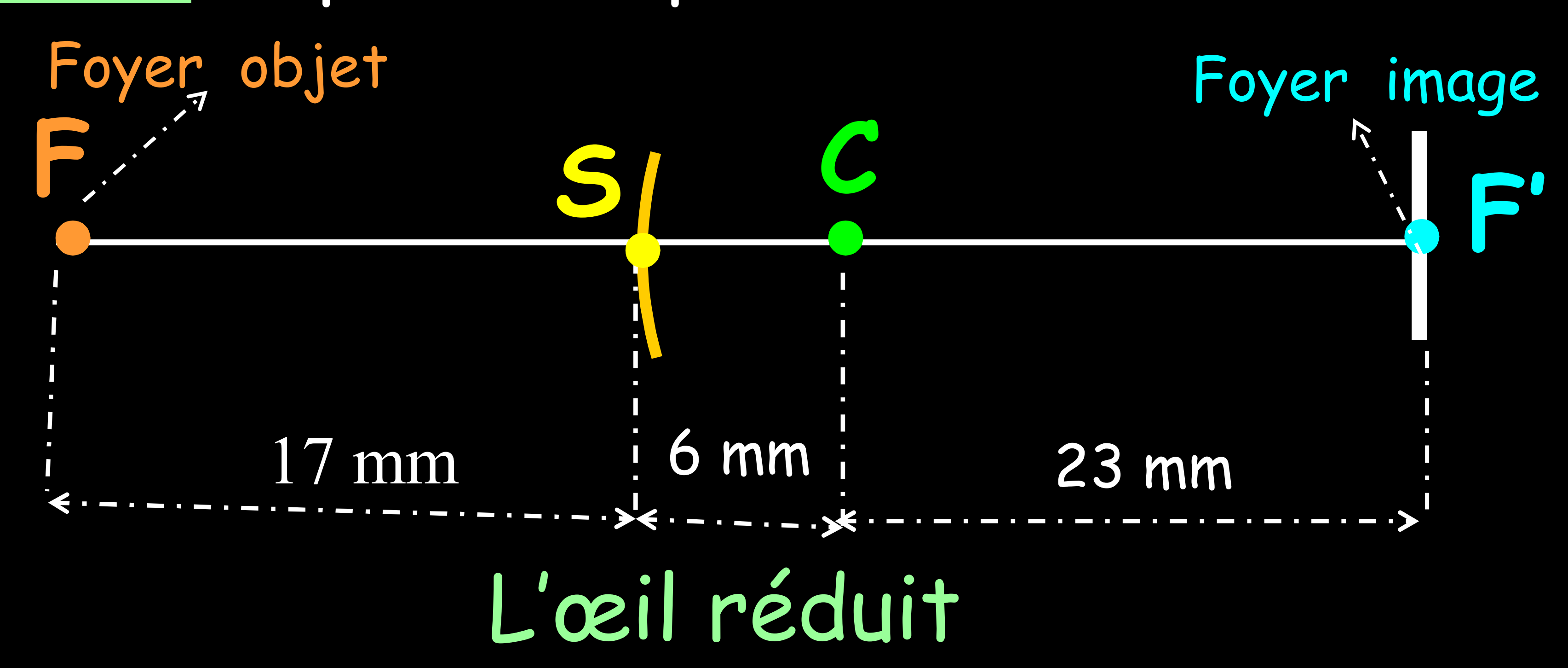
7cm

Le cristallin est une sorte de **lentille**, non homogène, épaisse de 4 mm environ, formée de **couches superposées capables de glisser les unes sur les autres**. Son **indice de réfraction** croît de **1,36** sur les bords à **1,42** sur l'axe. Sa distance focal **f'** est donc **variable**.

Les rayons de courbure sont respectivement **10mm** pour la face antérieure et **6 mm** seulement pour la face postérieure. Il est à mentionner que le **cristallin** possède un diamètre d'environ **10 mm**.


4 mm & n=1,336
Cornée
Iris
Pupille
Chambre antérieure
Cristallin
1,42
Humeur vitrée
1,33
Rétine
Fovéa
Point aveugle
Chambre postérieure
Nerf optique
Humeur aqueuse
1,33
Taille de l'oeil normal : 25 mm
16 mm & n=1,330

Au point de vue optique, l'œil est équivalent à un **dioptre sphérique** de sommet **S**, de centre **C**, de **6 mm de rayon**, séparant **l'air d'indice 1 et le milieu d'indice 1,336** : ce dioptre est appelé **œil réduit**, représenté par le schéma :



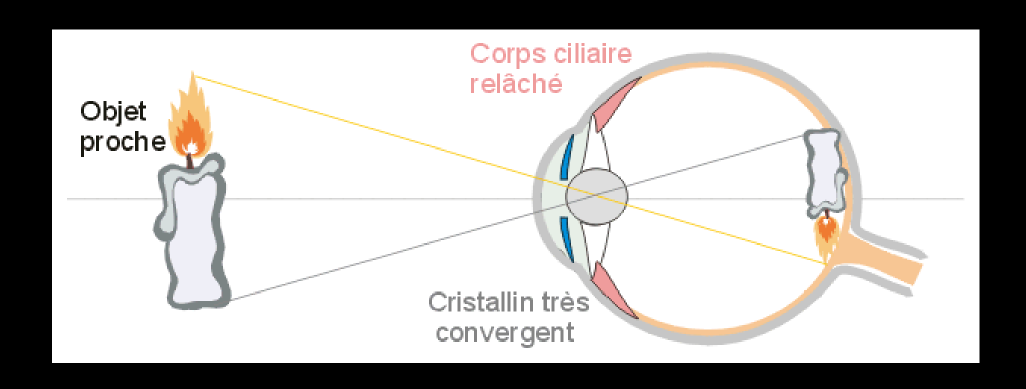
Pour un œil normal, l'image d'un objet d'abord très éloigné et puis rapproché de cet œil, se forme premièrement sur la rétine puis derrière la rétine et il cesse d'être vu nettement.



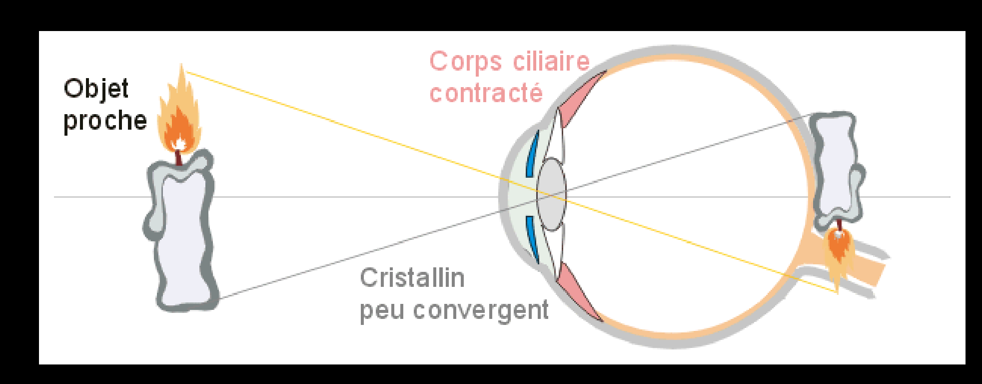
Or, on constate que la vision reste bonne : donc l'œil a subi une modification qui a pour effet de ramener sur la rétine l'image d'un objet rapproché : on dit que l'œil accommode.

L'accommodation se traduit par une augmentation de la vergence du cristallin grâce à un accroissement de la courbure des faces et peut-être à une variation d'indice.

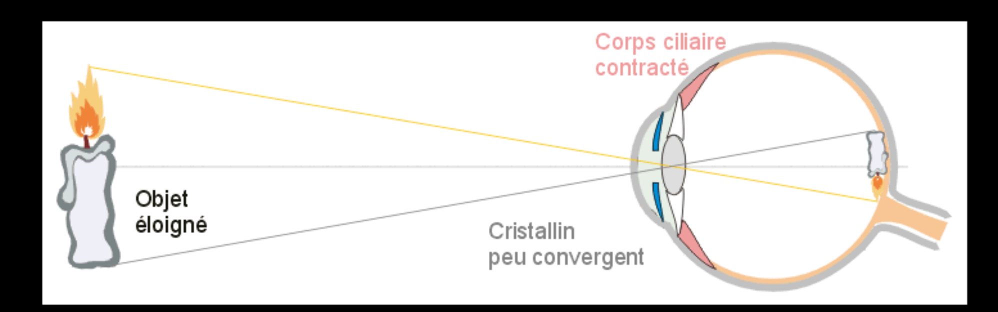
Ces déformations sont obtenues par pression des muscles de la zonule, principalement sur la face antérieure du cristallin ; cette action musculaire, si elle est prolongée, s'accompagne d'une fatigue.



repos



Objet Flou sans Accommodation



Objet net avec Accommodation

L'œil ne voit l'image nette que si celle-ci se forme sur la rétine.

PR Zone de vision distincte D_m PP d_m

Plage d'accommodation

La zone de vision distincte est limitée par:

1. Pucntum Proximum PP est le point le plus proche de l'œil.
2. Punctum Remotum PR est le point le plus éloigné de l'œil.

on peut définir le Punctum Proximum (PP) et le Punctum Remotum (PR) comme étant les points pour lesquels l'œil a sa puissance (vergence) maximale et minimale. Cette définition permet de fixer avec précision la position de PP et de PR.

PP Punctum Proximum est situé à la **distance minimale d_m de** vision distincte. Cette distance d_m ne peut pas être définie avec précision, elle varie avec l'âge ; pour un œil normal, elle est de l'ordre de 15 cm à 20 ans.

L'œil au repos, voit nettement à une distance maximale D_m correspondant au Punctum Remotum, noté PR.

Zone de vision distincte

Plage d'accommodation

PP

PR

d_m

D_m

En accommodant, l'œil augmente sa vergence, ce qui rapproche le plan de mise au point ; le cristallin est alors bombé. Le Punctum Proximum PP correspond donc à la vergence V maximale et à la distance minimale d_m de vision distincte. En revanche, le Punctum Remotum PR, correspond à la vergence minimale. du cristallin et à la distance maximale D_m de vision distincte.

Pour un œil normal d'adulte, le domaine de « vision nette » : $D_m = \infty$ et $d_m = 25cm$

PP d_m

Zone de Vision distincte



PR

D_m

Principaux défauts de l'oeil

Principaux défauts de l’œil

L'œil normal

PP d_m

Zone de Vision distincte



PR

D_m

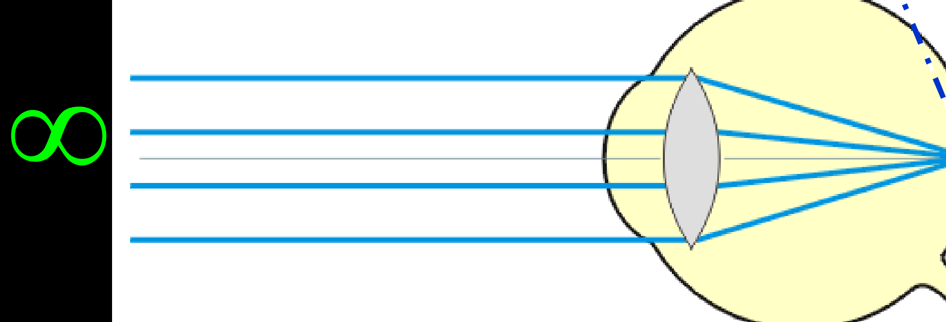
Nous considérons comme **normal un œil** qui, en l'absence d'accommodation, donne d'un objet à l'infini une image sur la rétine. Le point le plus éloigné qu'il peut voir ou Punctum Remotum PR est à l'infini.

L'œil normal est dit **emmétrope**.

rétine

$D_m = \infty$ et $d_m = 25cm$

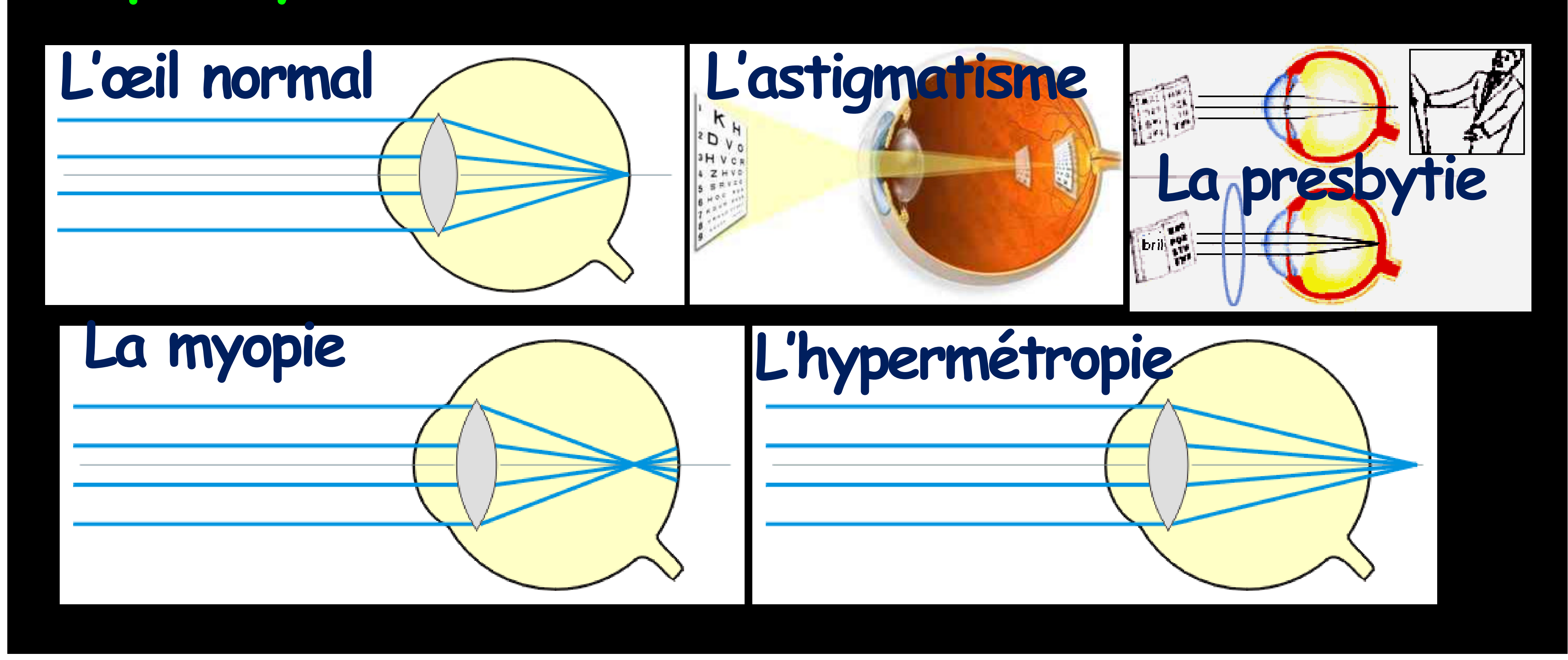
∞



Si, un œil étant au repos, l'image d'un point à l'infini se forme en avant ou en arrière de la rétine, l'œil est dit anormal ou amétrope.

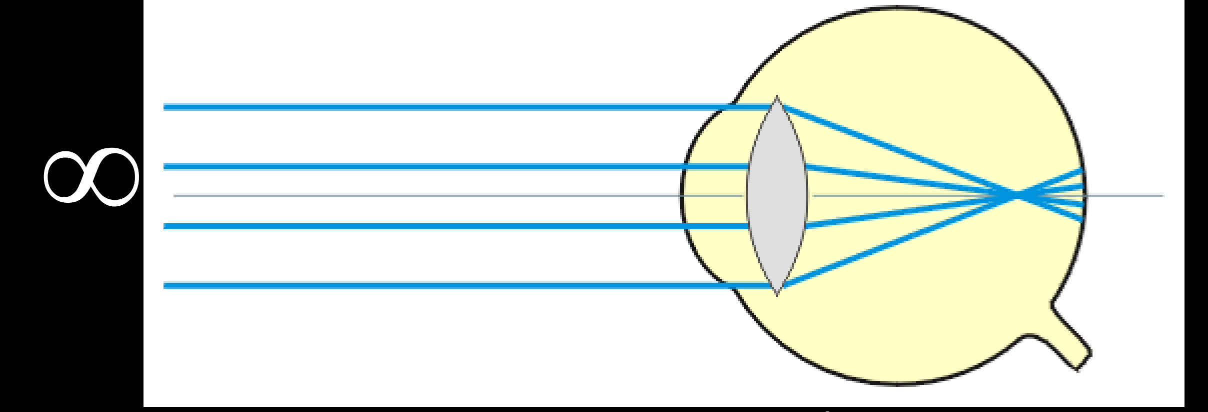
Les défauts d'accommodation les plus répandus sont la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme.

la presbytie est due au vieillissement du cristallin.



L'œil myope

∞



Un œil myope est trop convergent. Un œil est donc myope quand F', son plan focal image, est en avant de la rétine. L'œil myope est donc trop profond pour sa convergence, si l'on admet que tous les yeux ont sensiblement la même puissance.

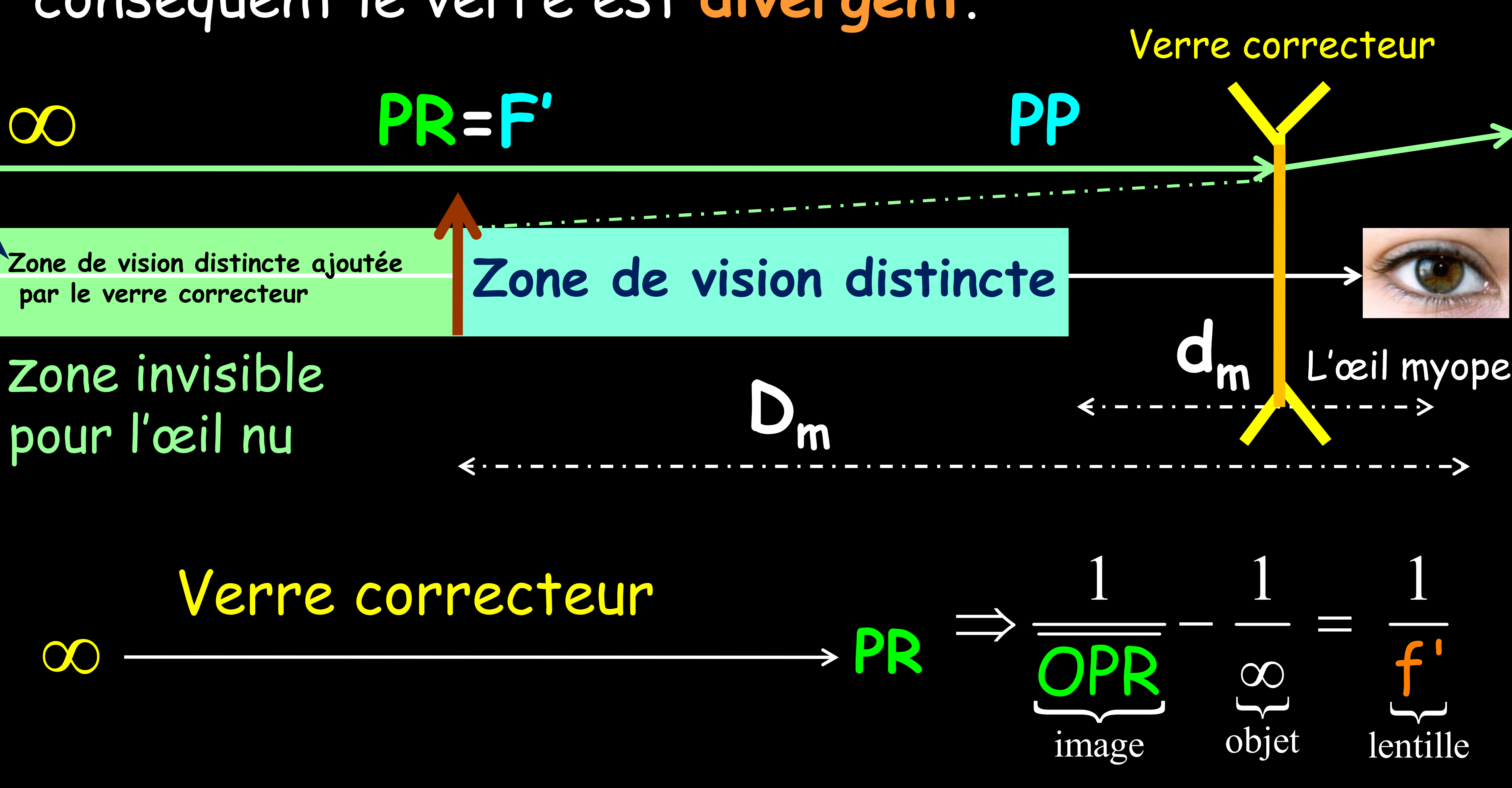
Au repos il ne peut pas voir un objet à l'infini, l'accommodation ne ferait qu'aggraver le défaut.
Si l'objet se rapproche, l'image se rapproche de la rétine et se forme sur elle, toujours en l'absence d'accommodation, quand l'objet atteint le Punctum Remotum (une dizaine de cm) de cet œil myope.

L'œil myope accommode pour voir les objets les plus rapprochés et atteint la limite au Punctum Proximum. Comme son Punctum Reotum n'est pas à l'infini, il est très proche de l'œil (une dizaine de cm). Sa zone de vision distincte est alors très réduite.

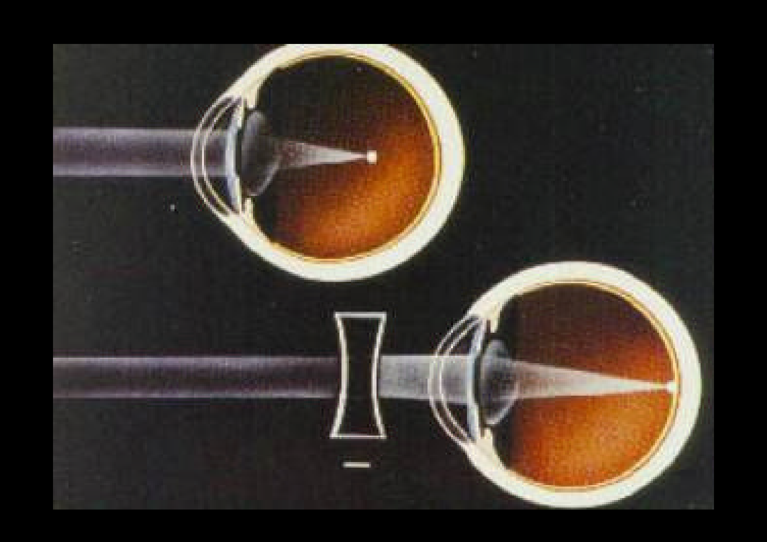


Comment élargir la zone de vision distincte de ce myope ?

Pour **augmenter** cette zone de vision distincte de ce myope, on utilise un **verre correcteur** dont le **foyer principal image F'** coïncide avec son **PR**, par conséquent le verre est **divergent**.



La myopie se corrige en plaçant devant l'œil une lunette divergente de distance focale le PR de cet œil myope : f ' = PR



PR

PP < 20 cm

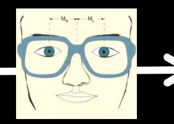
Zone de vision distincte très réduite(œil myope nu)



∞ ← PR

PP

Zone de vision distincte agrandie (œil myope + lunette divergente)



Remarque : Pour observer un objet situé avant le Ponctum Proximum (PP) le myope a intérêt a retiré ses **lunettes** : accommodation moindre sans verres correcteurs.

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow \boxed{PP' = NPP = \frac{PR.PP}{-PP + PR} = \frac{f'.PP}{-PP + f'}}$$

Position du nouveau NPP

∞ — Verre correcteur → **PR**

∞ **PR** **NPP** **PP**

Nouvelle zone de vision distincte | Éloignement du PP



D_m d_m

$PP = -25cm \quad PR = -100cm \Rightarrow \quad NPP = -33cm \quad NPR = \infty$

$$PP \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (PP)'$$

$$PR \xrightarrow[\text{correcteur}]{\text{verre}} (PR)'$$

$$\frac{1}{d_m'} - \frac{1}{d_m} = V, \quad \frac{1}{D'} - \frac{1}{D} = V$$

d'ou

$$\boxed{\frac{1}{D} - \frac{1}{d_m} = \frac{1}{D'} - \frac{1}{d_m'} = A}$$

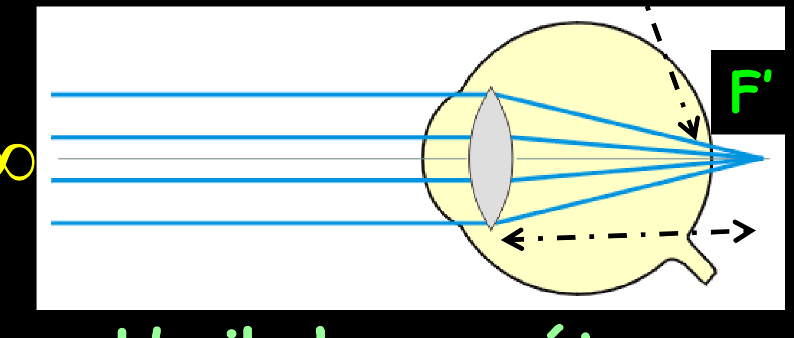
L'amplitude dioptrique A mesure la vergence du verre qui donnerait du PP une image située au PR.

Ce résultat n'est valable qu'en cas où le verre correcteur est placé tout contre l'œil.

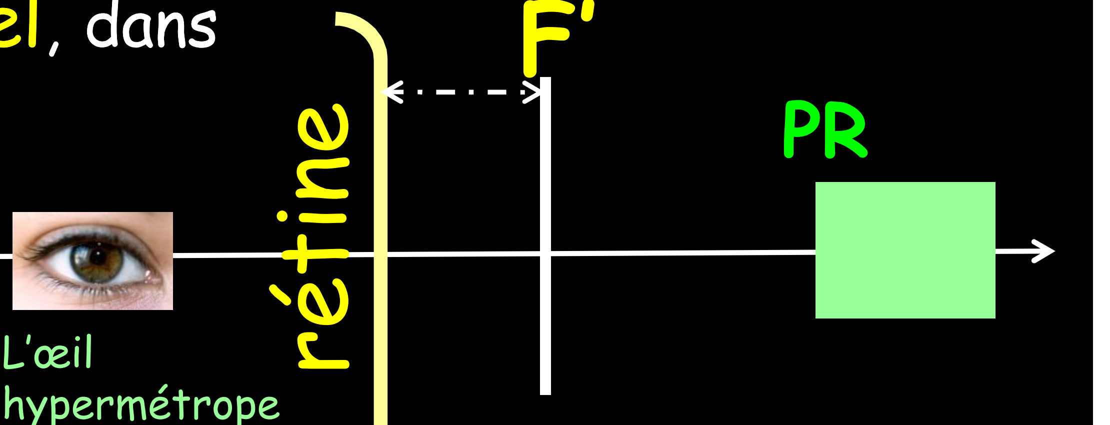
Il y a conservation de l'amplitude dioptrique pour un œil auquel on adjoint un verre de vergence V.

L'œil **hypermétrope** est trop court pour sa convergence, c'est-à-dire il <u>n'est pas assez convergent</u>. L'image **F'** d'un point situé à l'infini est alors placée derrière la rétine

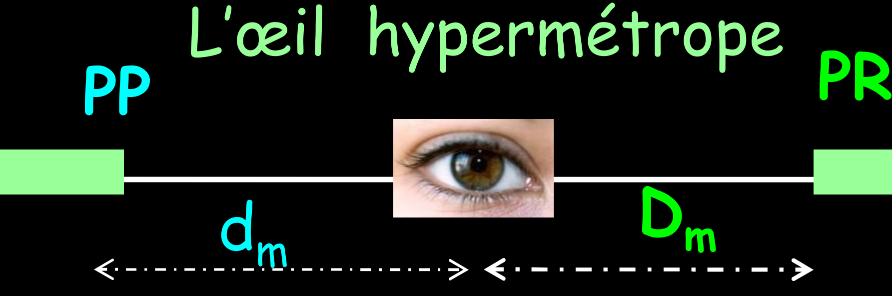
Le foyer image F' de cet œil hypermétrope au repos, est en arrière de la rétine et comme le conjugué du **PR** doit être sur la rétine de l'œil non accommodé, donc en avant de F', **PR** ne peut être qu'un point virtuel, dans ce cas.



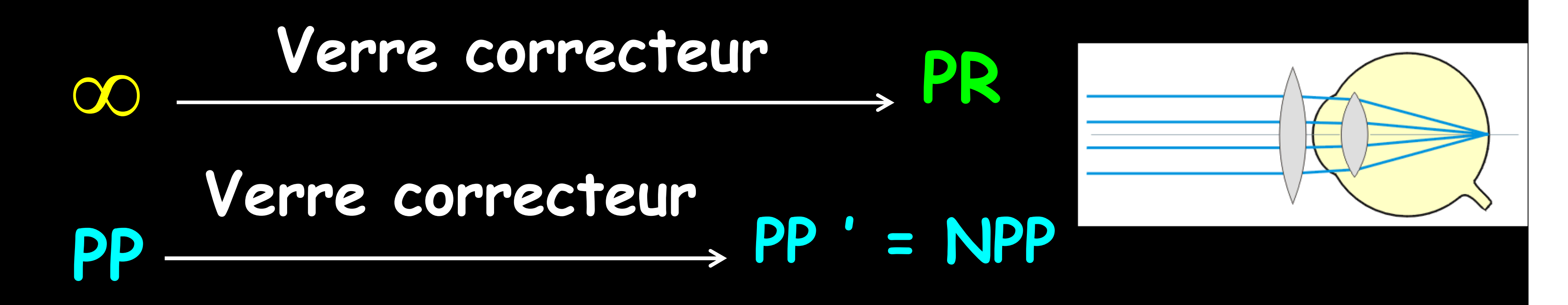
L'œil hypermétrope



L'œil hypermétrope



Il faut accommoder pour voir les **objets virtuels** situés en arrière de **PR** et les points réels situés en avant du **PP**, lequel est plus loin que dans le cas de l'œil normal. Sa distance minimale d_m peut être égal à 50 cm ou plus. L'hypermétropie se corrige en plaçant devant l'œil une lunette convergente.

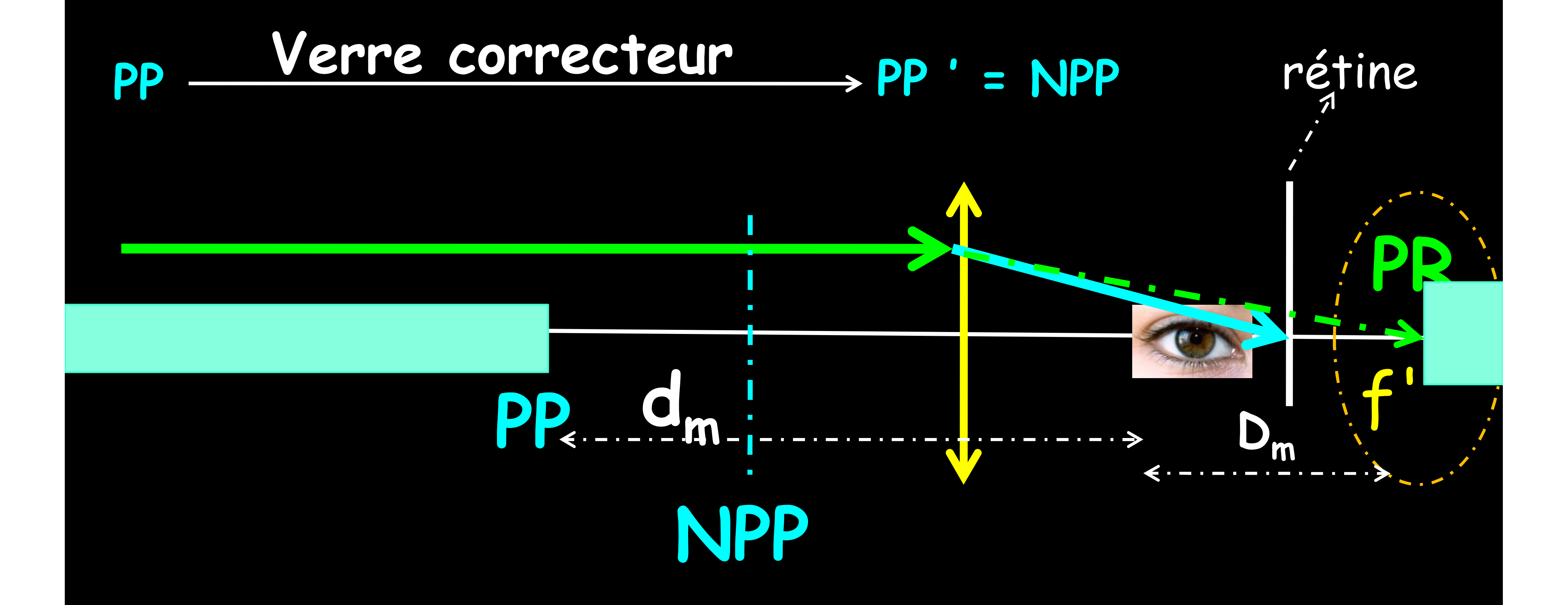


Pour un œil hypermétrope, le verre correcteur est convergent, V > 0, il doit augmenter la faible convergence de cet œil .

$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{PR}$$

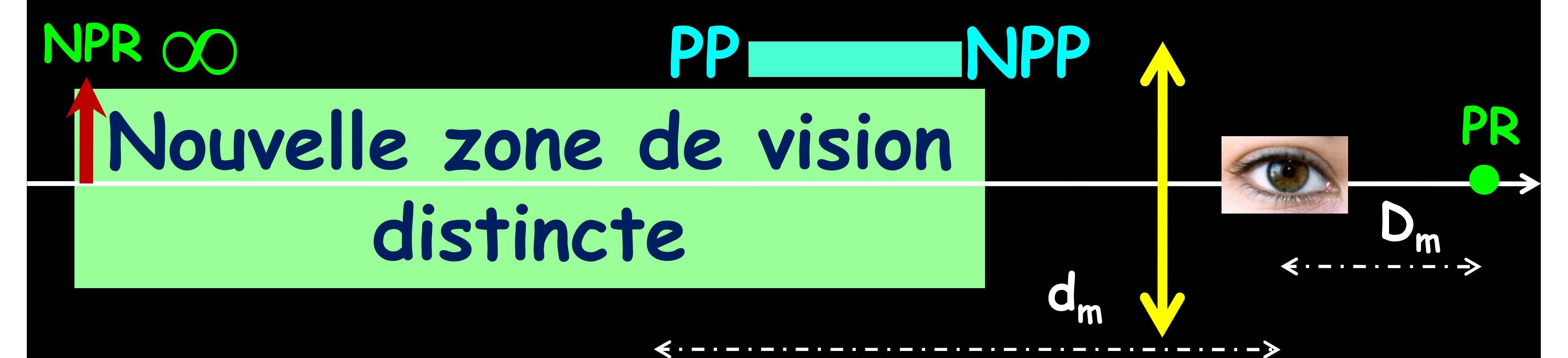
Verre correcteur

$\infty \longrightarrow PR$



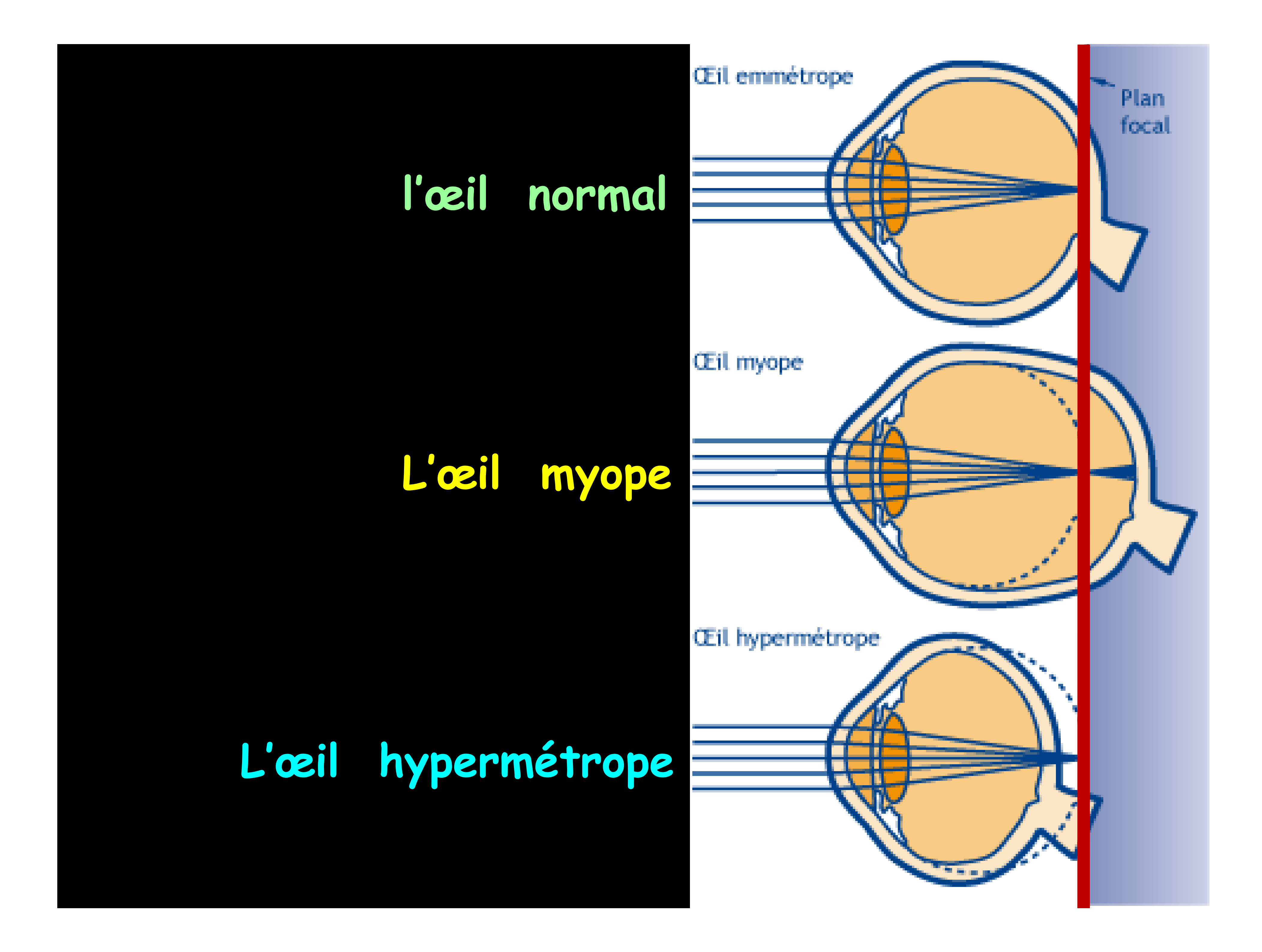
Exemple

$PP = -70cm \quad PR = 20cm \Rightarrow \quad NPP = -14cm \quad NPR = \infty$

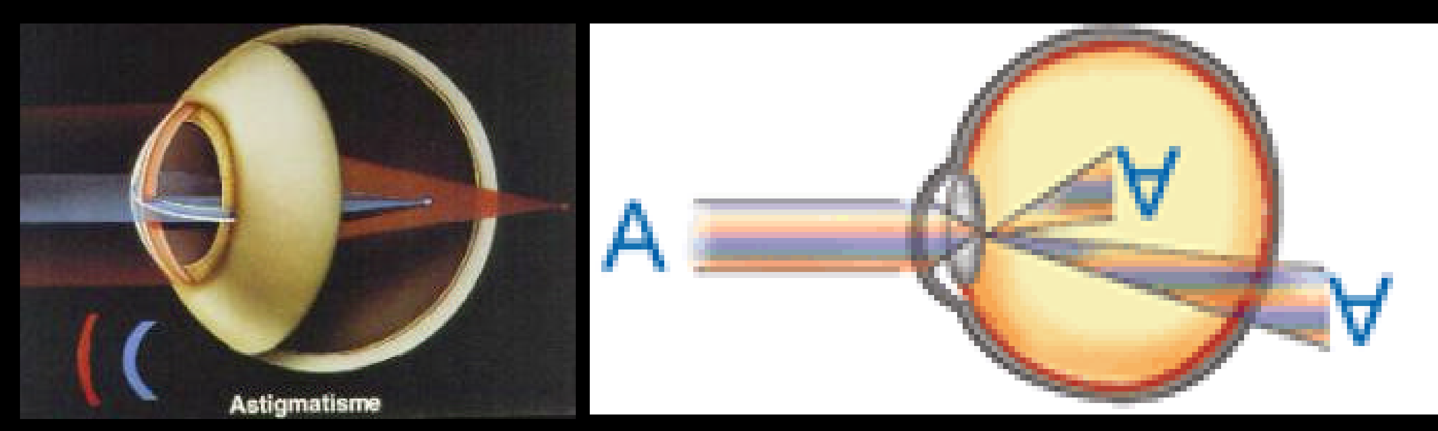


$$\frac{1}{PP} - \frac{1}{PP'} = \frac{1}{PR} \Rightarrow PP' = NPP = \frac{PR.PP}{-PP + PR}$$

PP —Verre correcteur→ PP'= NPP


l'œil normal
L'œil myope
L'œil hypermétrope
Œil emmétrope
Plan focal
Œil myope
Œil hypermétrope

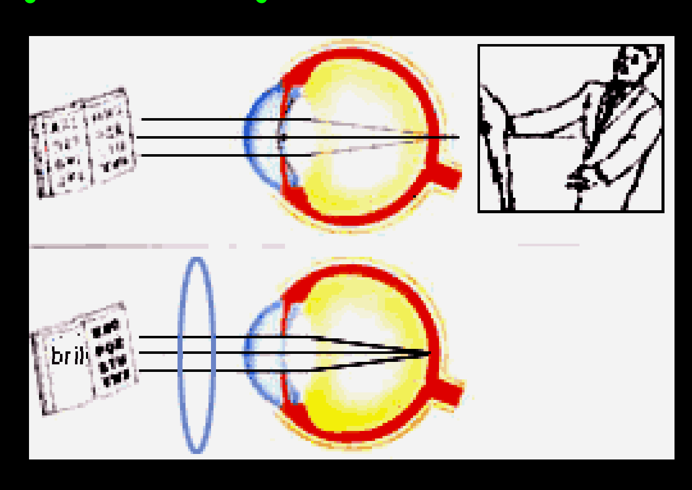
Astigmatisme : Il y a astigmatisme de l'œil lorsque celui-ci ne possède pas <u>la symétrie de révolution</u>. On corrige ce défaut à l'aide de verres non sphériques.





Presbytie : La faculté d'accommodation, liée à un effort musculaire, **diminue avec l'âge** : le **PP** s'éloigne progressivement de l'œil, le **PR** restant à peu près fixe.

L'amplitude dioptrique A diminue et, pour un **œil emmétrope**, passe d'une dizaine de dioptries, à 20 ans, à 1 dioptrie vers 60 ans. On dit que l'œil devient **presbyte**.



La presbytie est alors la diminution de la faculté d'accommodation due au vieillissement de l'œil.

Un œil normal, devenu presbyte, voit encore nettement les objets éloignés, mais pour voir de près, pour lire par exemple, il doit compenser l'insuffisance de l'accommodation par l'emploi de lunettes munies de lunettes convergentes.

Puisque le Punctum Proximum s'éloigne, la **puissance maximale** de l'œil **diminue** et l'on atténue la presbytie en adjoignant à l'œil, **un verre convergent**. Il s'ensuit un **rapprochement** du Punctum Remotum et en définitive l'amplitude de l'œil armé reste celle de l'œil nu.

Bien entendu, un observateur à une **vue normale** devenu **presbyte** quitte ses lunettes pour regarder les objets éloignés qu'il continue à voir sans accommodation.

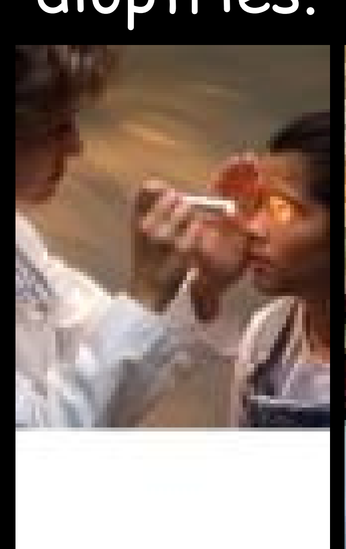
Étant donné son origine, **la presbytie** peut affecter toutes **les vues**, si bien qu'un **myope presbyte** doit utiliser **deux verres correcteurs** :

- **L'un divergent**, pour la vision des objets éloignés, corrige la **myopie**,
- L'autre, **convergent**, pour la vision d'objets proches, réduit la **presbytie**.

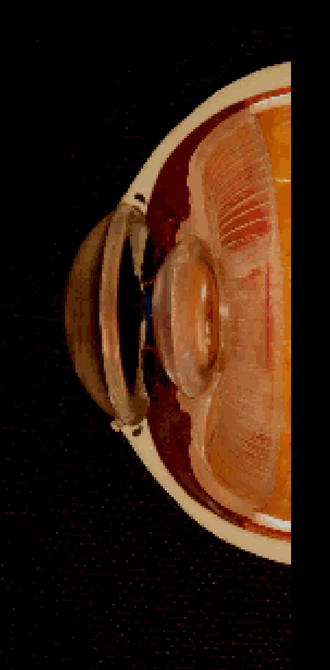
On remplace souvent ces deux verres par un seul « à double foyer » :

- La partie supérieure est utilisée pour la vision éloignée,
- Celle du bas, destinée à la lecture, est rendue plus convergente par soudure d'une pastille de verre.

La cataracte est un épaississement des tissus du **cristallin** entraînant d'abord **une vision trouble**, puis peu à peu **la cécité**. On est alors conduit à enlever le **cristallin**, ce qui diminue la convergence de l'œil d'une douzaine de dioptries.







On atténue ces diminutions physiques par l'emploi des verres fortement convergents ou de verres de contact.

Exercice 19 :
L'œil myope-presbyte

PR PP

Zone de vision nette de ce myope

-100cm -40cm



1) Une lentille divergente de distance focale $f'_c = PR = -100cm$
et de vergence $V_c = \frac{1}{f'_c} = \frac{1}{-100.10^{-2}} = -1\delta$

2) $NPP \xrightarrow{\mathcal{L}_c} PP \Rightarrow \frac{1}{PP} - \frac{1}{NPP} = \frac{1}{f'_c} \Longrightarrow$

$$NPP = \frac{PP.f'_c}{f'_c - PP}$$

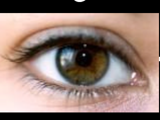
A.N. : $NPP = -66,67cm$

$NPR \rightarrow \infty$

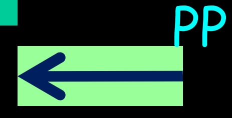
NPP = -66,67cm

Verre correcteur
$f'_c = -100cm$ & $V_c = -1\delta$

Zone de vision distincte œil + lunette



PP



NPP = -66,67cm -40cm

3) Pour améliorer la vision rapprochée à l'aide des mêmes lunettes de correction $\mathcal{L}_{C1}$, on accole une seconde lentille $\mathcal{L}_{c2}$ convergente afin d'avoir la distance minimale dm de la vision distance de l'œil corrigé soit ramenée à 20 cm.

$$V_2 = 3{,}5\delta \;\&\; f_c' = 28{,}6\text{cm}$$

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow V_2 = V - V_1 = 2{,}5 - (-1) = 3{,}5\delta$$

$$NPP2(-20\text{cm}) \xrightarrow{\mathcal{L}_2} NPP1(-66{,}67\text{cm}) \xrightarrow{\mathcal{L}_1} PP(-40\text{cm})$$

$NPR \to \infty$

Zone de vision distincte œil+lunette1

PR PP

-100cm -40cm

$NPP2 \to -20\text{cm}$

4)

La seconde lentille $\mathcal{L}_{c2}$ est supposée biconvexe de rayons R_1 et R_2 tel que : $R_1 = - R_2$. Sa vergence s'exprime comme suit :

$$V = (n-1).\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right) = (n-1).\left(\frac{2}{R_2}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{R_2 = 2.\frac{(n-1)}{V} = 2.\frac{(1,5-1)}{3,5} = 28,6\text{cm}}$$

Fin de l'exercice n°19

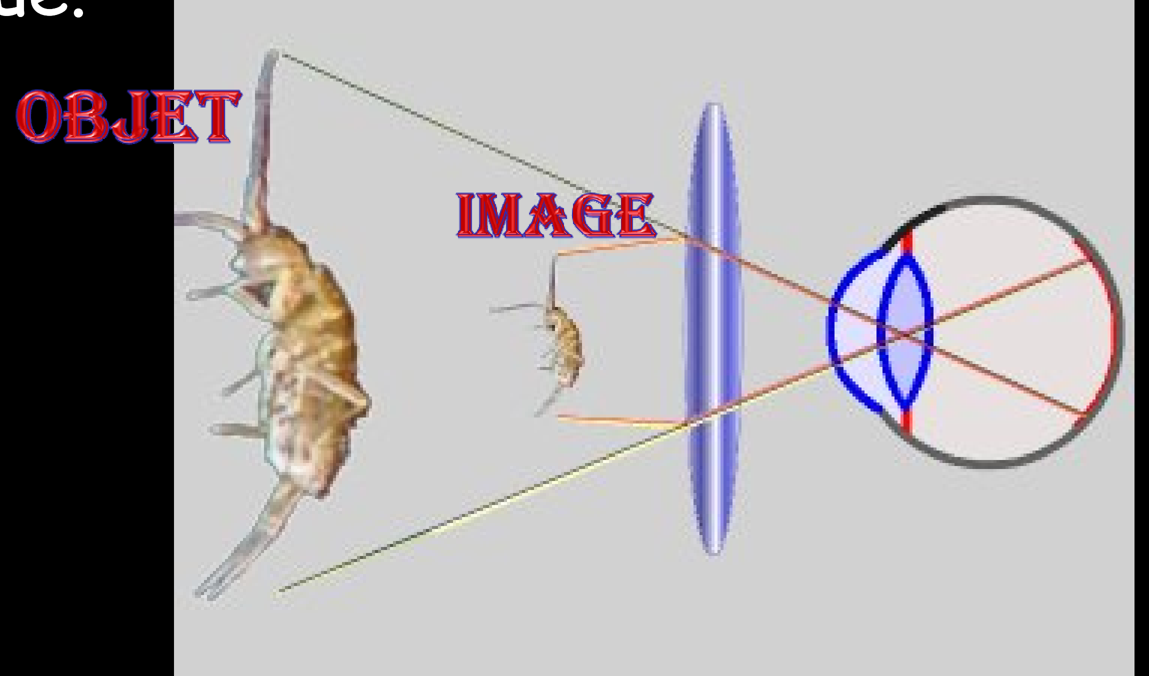
LA LOUPE



Un objet rapproché est vu par l'œil sous le plus grand diamètre apparent quand il est placé au Punctum Proximum PP. Cette position impose en même temps l'accommodation maximale (**vergence maximale**).

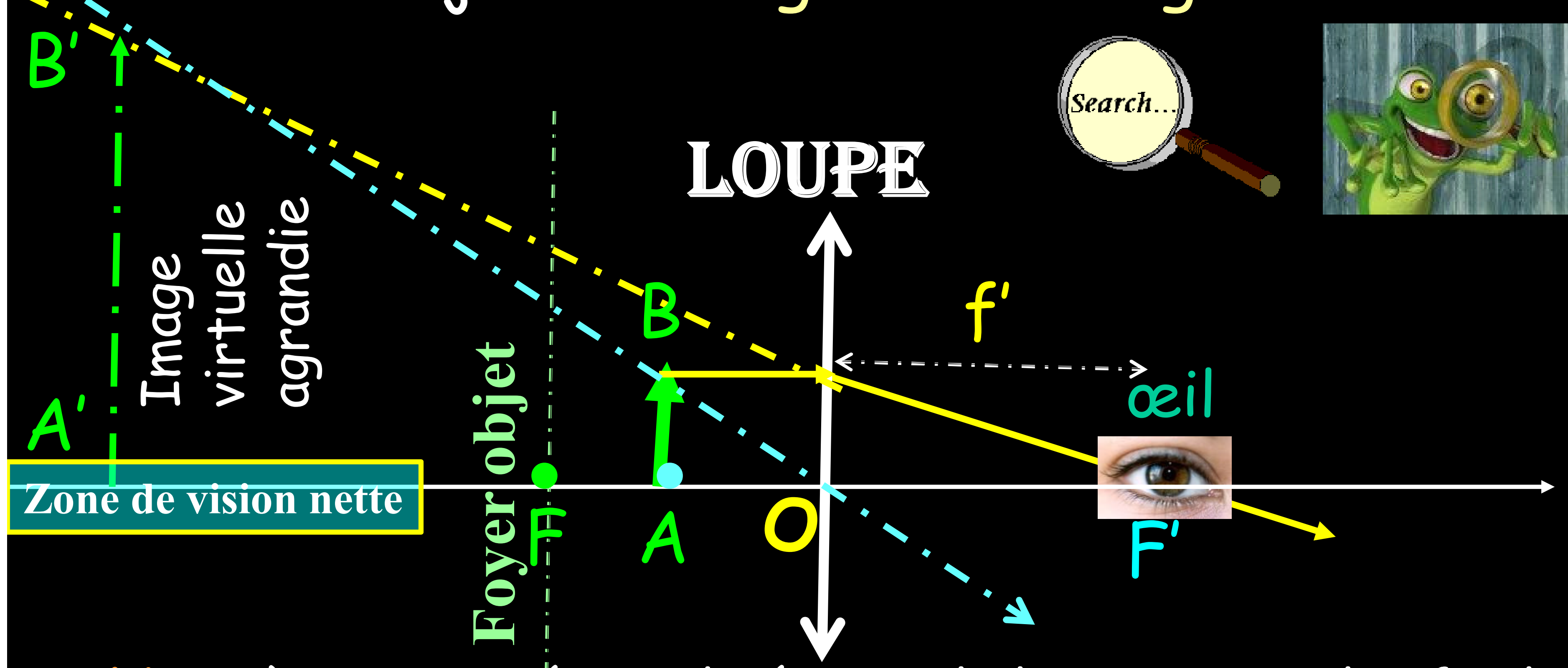
A cet égard, **l'œil myope** manifeste une supériorité sur les autres yeux.

Pour réduire ou même supprimer cette **accommodation**, on substitue à la **vision directe** de l'objet celle de l'image qu'en donne un système optique.



Pour éliminer **l'encombrement**, l'image est formée loin de l'œil et de préférence au <u>**P**unctum **R**emotum</u>, son **diamètre apparent** devant être aussi grand que possible.

Une **Loupe** est une lentille épaisse convergente de courte distance focale f ', comprise entre **2** et **10 cm**, utilisée par un œil myope ou emmétrope, donne de l'objet une image virtuelle agrandie.



L'objet à examiner étant placé entre la loupe et son plan focal objet F, l'image est virtuelle et grande.

La **mise au point** consiste à amener l'image virtuelle **A'B'** entre les **deux punctums** (**PP** et **PR**) de **vision distincte de l'œil**, en modifiant la **distance** de **l'objet à la loupe**.

PR

PP

A_1 A_2

Δ

B'

B

A'

F

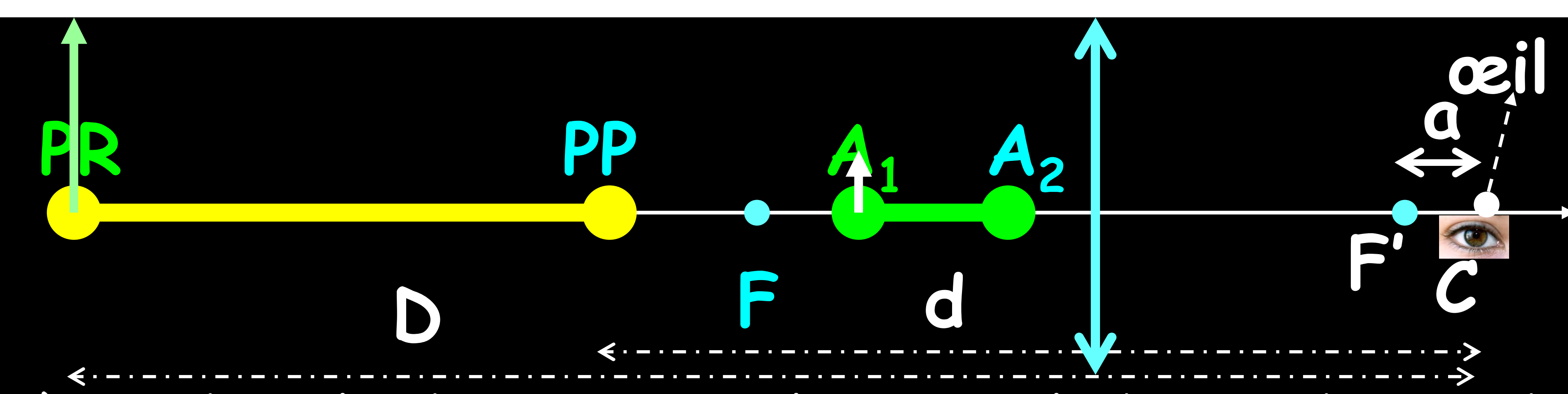
A

F'

La latitude ℓ de mise au point est alors la distance des positions extrêmes **A_1** et **A_2** entre lesquelles doit se trouver l'objet pour que son image soit bien visible par l'observateur, donc cette image doit être placée entre les deux Punctums (**P**roximum et **R**emotum).

les deux positions extrêmes A_1 et A_2, comme l'indique la figure précédente, sont conjugués des punctums **PR** et **PP** respectivement.

La mesure algébrique $\overline{A_1A_2}$ est la latitude ℓ d'accommodation de l'œil armé de la loupe.



où D et d sont les distances maximale et minimale de vision distincte de l'observateur.

$$\overline{F'C} = a$$

A_1 a pour image PR

$$A_1 \xrightarrow[\text{Relation de Descartes}]{\text{loupe } \overline{OF'} = f'} PR = R$$

$$\frac{1}{\overline{OR}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{f'}$$

A_2 a pour image PP

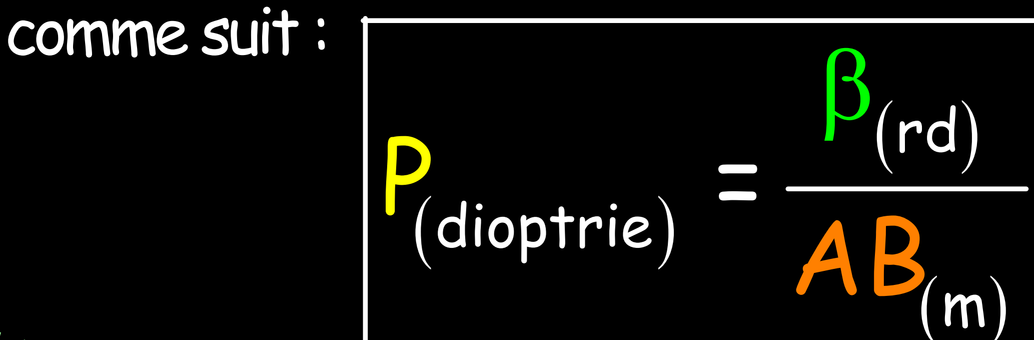
$$A_2 \longrightarrow PP = P$$

$$\frac{1}{\overline{OP}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{f'}$$

$$\overline{A_1A_2} = \overline{A_1O} + \overline{OA_2} = \overline{OA_2} - \overline{OA_1} = \text{latitude } \ell$$

La puissance d'une loupe

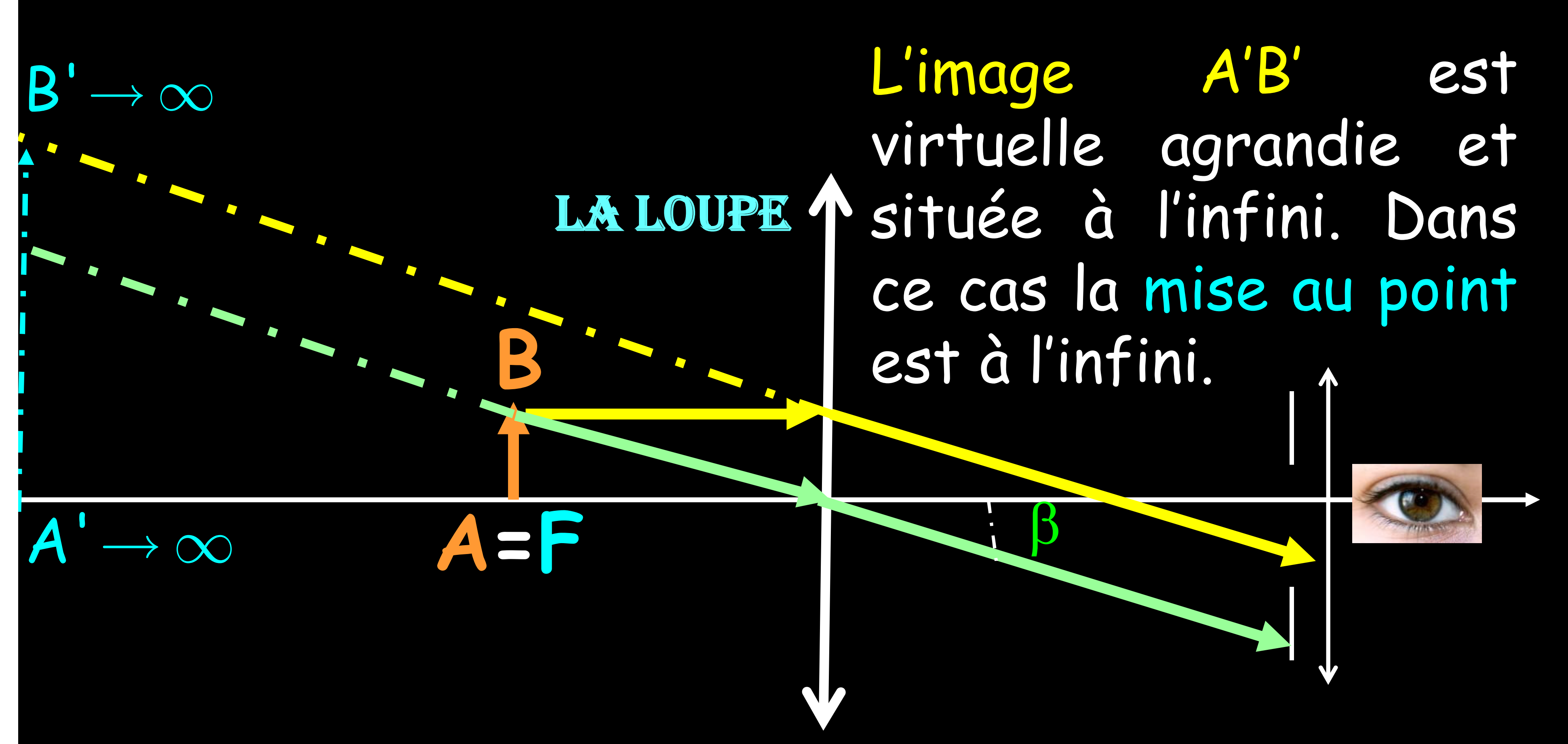
l'efficacité de la loupe est caractérisée par l'angle β sous lequel est vue l'image A'B' observée. La puissance P d'une loupe est définie comme suit :



$$P_{(dioptrie)} = \frac{\beta_{(rd)}}{AB_{(m)}}$$

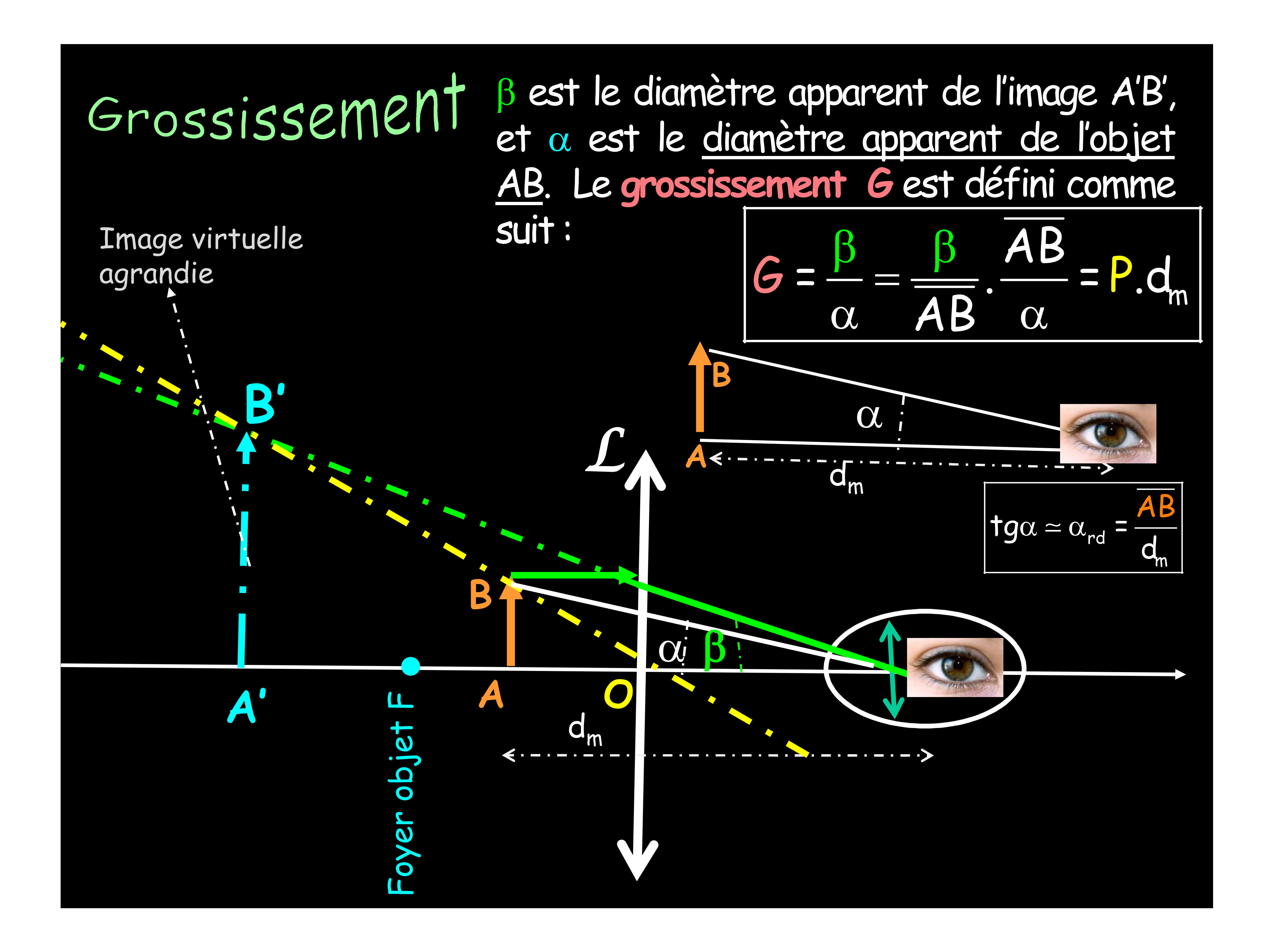
β est le diamètre apparent de l'image A'B', et AB désigne la taille de l'objet à examiner.

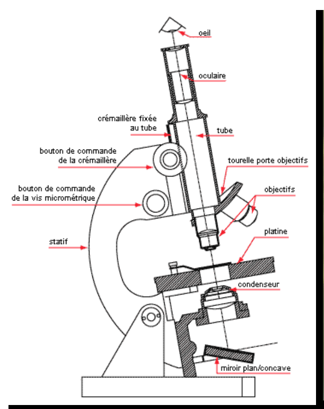
B'
A'
B
A
β
Foyer objet
ŒIL
LOUPE
Image virtuelle agrandie



<u>Remarque</u> : Quand l'objet est placé dans le plan focal objet F, son image est formée à l'infini. Dans ce cas, son diamètre β est exprimé comme suit :

$$\beta = \frac{\overline{AB}}{\overline{OF}} = \frac{\overline{AB}}{f'}, \quad d'ou \quad P = \frac{\beta}{\overline{AB}} = \frac{1}{f'} = V = \text{Vergence}$$


Grossissement
β est le diamètre apparent de l'image A'B', et α est le diamètre apparent de l'objet AB. Le grossissement G est défini comme suit :
$G = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\beta}{\overline{AB}} \cdot \frac{\overline{AB}}{\alpha} = P.d_m$
Image virtuelle agrandie
B'
A'
Foyer objet F
B
A
O
ℒ
α
β
d_m
$tg\alpha \simeq \alpha_{rd} = \frac{\overline{AB}}{d_m}$





Le microscope:



Un microscope est un instrument de très fort grossissement comprenant un ***objectif***, assimilable à une lentille mince très convergente, et un *oculaire* jouant le rôle de loupe dans l'examen de l'image réelle, très agrandie, que l'objectif donne de l'objet examiné. Le microscope est alors l'association de deux systèmes convergents. Il sert à observer de petits objets rapprochés.

Son fonctionnement idéal : lorsque l'image réelle donnée par l'objectif se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire (dans ce cas l'œil normal n'accommode pas).

Comment fonctionne un microscope ?

$\mathcal{L}_1$

$\mathcal{L}_2$

Objet à analyser

B

A

A'

F_1

O_1

Δ

F'_1

F_2

A_1

B_1

O_2

F'_2

Image finale virtuelle agrandie à observer

B'

Image réelle intermédiaire

La Puissance :

$$P_{(dioptrie)} = \frac{\beta_{(rd)}}{\overline{AB}_{(m)}}$$

où β est le diamètre apparent de l'image, et AB désigne la taille de l'objet à examiner.

$$P = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} \cdot \frac{\beta}{\overline{A_1B_1}} = \underbrace{\gamma_1}_{\text{l'Objectif}} \cdot \underbrace{P_0}_{\text{l'Oculaire}}$$

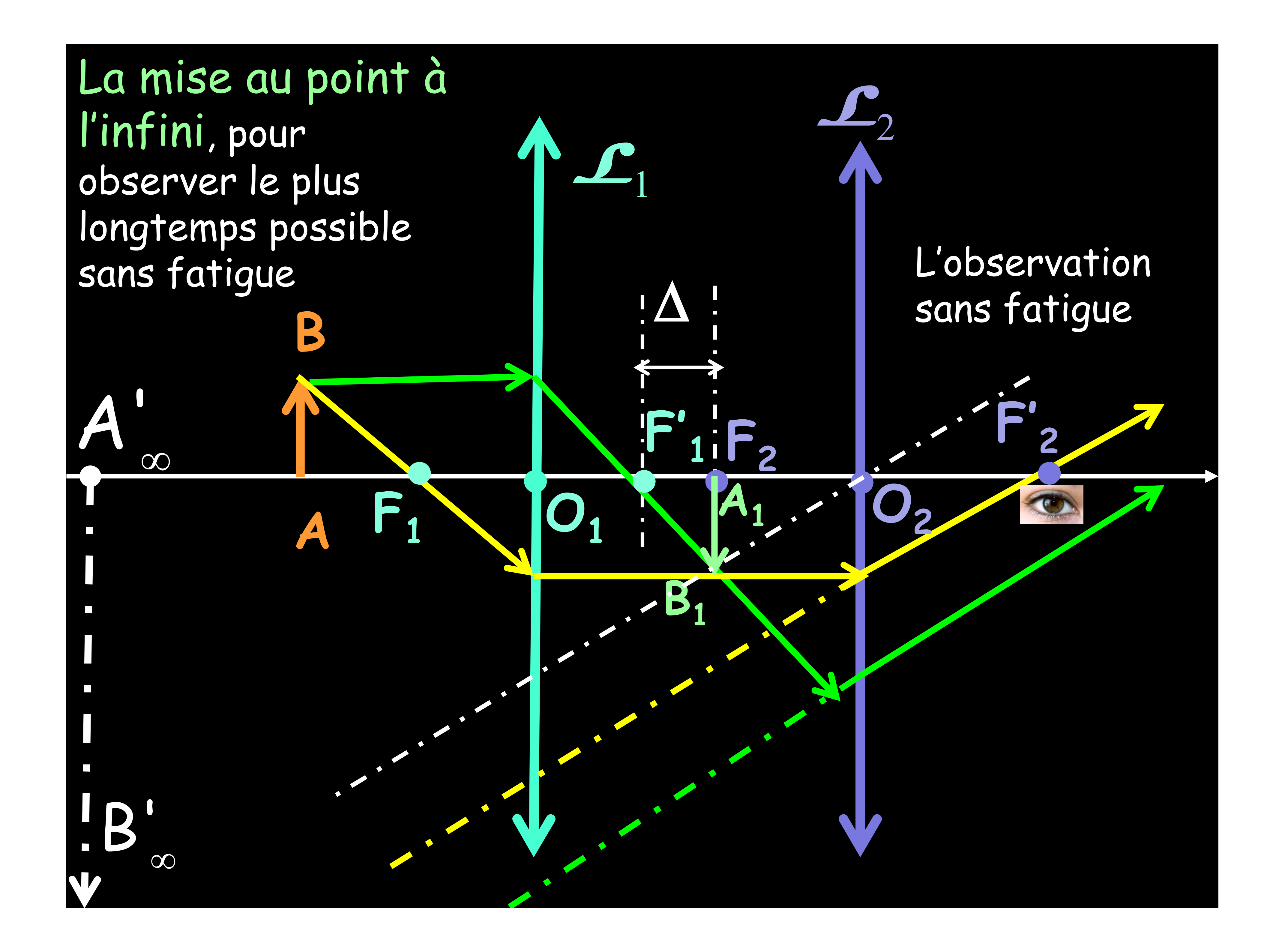
Le grossissement :

$$G = \frac{\beta}{\alpha}$$

Avec β est le diamètre apparent de l'image, et α est le diamètre apparent de l'objet.

$$G = \frac{\beta}{\overline{AB}} \cdot \frac{\overline{AB}}{\alpha} = P.d_m$$

d_m est la distance minimale de vision distincte


La mise au point à l'infini, pour observer le plus longtemps possible sans fatigue
L'observation sans fatigue
$\mathcal{L}_1$
$\mathcal{L}_2$
Δ
B
A
A'∞
B'∞
F1
O1
F'1
F2
A1
B1
O2
F'2

Exercice 22: Le microscope

$$V_1 = 250\delta \Rightarrow f_1' = 4mm,\quad \overline{O_1O_2} = 18,9cm = 189mm,\quad \overline{O_1A} = -4,1mm,\quad V_2 = ?$$

a) $$AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'B' \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{f_1'} \Rightarrow \boxed{\overline{O_1A'} = \frac{f_1'.\overline{O_1A}}{f_1' + \overline{O_1A}} = 164mm}$$

b) $$\boxed{\gamma_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A'}}{\overline{O_1A}} = \frac{164mm}{-4,1mm} = -40}$$

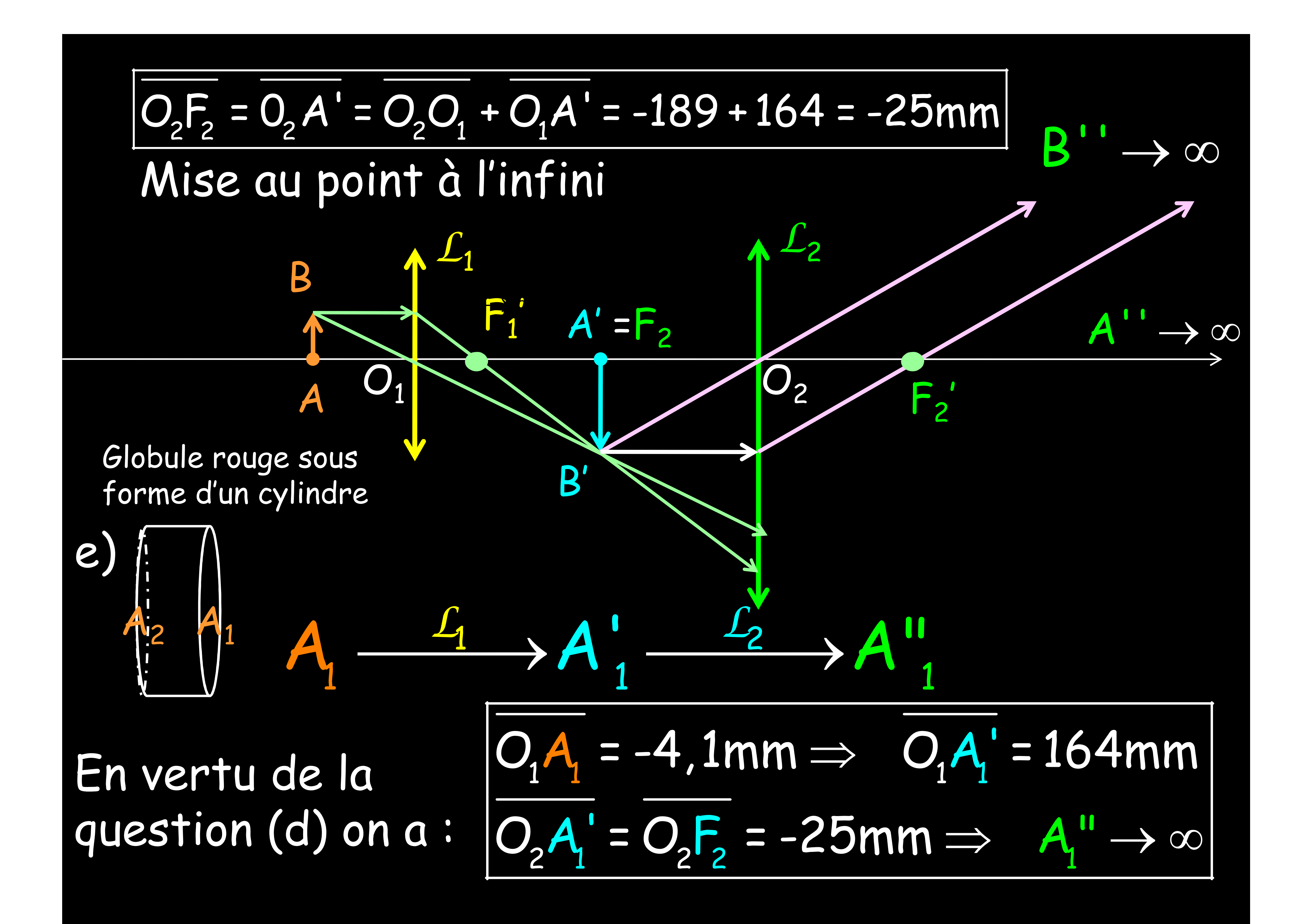
$$\boxed{\overline{A'B'} = \overline{AB}.\gamma_t = 10\mu m.(-40) = -400\mu m}$$

A'B' est une image réelle, renversée et 40 fois plus grande que l'objet AB=10µm

c) $$AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'B' \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A''B''$$

A''B'' est une image virtuelle, droite agrandie, formée par l'oculaire $\mathcal{L}_2$ qui joue le rôle d'une loupe.

d) A''B'' est située à l'infini alors l'image intermédiaire A'B', formée par l'objectif $\mathcal{L}_1$, doit être placée sur le foyer principal objet F_2 de $\mathcal{L}_2$, d'où on a :



$\overline{O_2F_2} = \overline{O_2A'} = \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A'} = -189 + 164 = -25mm$
Mise au point à l'infini
$B'' \to \infty$
$\mathcal{L}_1$
$\mathcal{L}_2$
B
F_1'
$A' = F_2$
$A'' \to \infty$
O_1
O_2
A
F_2'
Globule rouge sous
forme d'un cylindre
B'
e)
A_2
A_1
$A_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A'_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A''_1$
En vertu de la
question (d) on a :
$\overline{O_1A_1} = -4,1mm \Rightarrow \overline{O_1A_1'} = 164mm$
$\overline{O_2A_1'} = \overline{O_2F_2} = -25mm \Rightarrow A_1'' \to \infty$

f) $A_2 \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_2' \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_2''$

Par hypothèse on a : $\overline{F_2A_2'} = \overline{F_2O_2} + \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A_2'} \Rightarrow$

$$\overline{O_1A_2'} = \overline{F_2A_2'} + \overline{O_2F_2} + \overline{O_1O_2} = +3,1\text{mm} - 25 + 189 = 167,1\text{mm}$$

A'_2 est l'image intermédiaire de l'objet A_2, formée par l'objectif $\mathcal{L}_1$, d'où on a :

$$\frac{1}{\overline{O_1A_2'}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1F_1'}} = \frac{1}{f_1'} \Rightarrow \overline{O_1A_2} = \frac{f_1'.\overline{O_1A_2'}}{f_1' - \overline{O_1A_2'}}$$

A.N. : $\overline{O_1A_2} = \dfrac{f_1'.\overline{O_1A_2'}}{f_1' - \overline{O_1A_2'}} = \dfrac{4.167,1}{4 - 167,1} = -4,098\text{mm}$

D'où on a :

$$\overline{A_1A_2} = \overline{A_1O_1} + \overline{O_1A_2} = \overline{O_1A_2} - \overline{O_1A_1} = -4,098 + 4,100 = 0,002\text{mm} = 2\mu\text{m}$$

C'est l'épaisseur du globule rouge à analyser au microscope.

